



Science Arts & Métiers (SAM)

is an open access repository that collects the work of Arts et Métiers Institute of Technology researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in: <https://sam.ensam.eu>
Handle ID: <http://hdl.handle.net/10985/12579>

To cite this version :

Katy TCHA-TOKEY, Emilie LOUP-ESCANDE, Olivier CHRISTMANN, Simon RICHIR -
Expérience Utilisateur et Interactions Homme-Environnement Virtuel Immersif - In: 9eme
conférence de psychologie ergonomique (EPIQUE), France, 2017-07-07 - Expérience utilisateur
et bien-être au travail - 2017

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository

Administrator : scienceouverte@ensam.eu



Expérience Utilisateur et Interactions Homme-Environnement Virtuel Immersif

Katy Tcha-Tokey

Arts et Métiers Paristech LAMPA, 2 bd du Ronceray, 49000 Angers

katy.tcha-tokey@ensam.fr

Emilie Loup-Escande

Université de Picardie Jules Verne, CRP-CPO EA 7273, Chemin du Thil, 80025 Amiens

emilie.loup-escande@u-picardie.fr

Olivier Christmann

Arts et Métiers Paristech LAMPA, 2 bd du Ronceray, 49000 Angers

olivier.christmann@ensam.eu

Simon Richir

Arts et Métiers Paristech LAMPA, 2 bd du Ronceray, 49000 Angers

simon.richir@ensam.eu

Catégorie de soumission : communication longue

RÉSUMÉ

Une des préoccupations des concepteurs d'interaction homme-environnement virtuel immersif est de favoriser une bonne expérience utilisateur dans ces environnements. En conséquence, de nouvelles méthodes mieux adaptées doivent être pensées pour évaluer ces nouveaux systèmes. Pour autant, la mesure de l'expérience utilisateur reste souvent partielle. Cette communication présente nos travaux de recherche développés dans le cadre d'une thèse doctorale. Ils proposent et valident un modèle holistique qui prend en compte l'ensemble des composants clés de l'expérience utilisateur en jeu dans les Interactions Homme-Environnement Virtuel Immersif. Nous avons voulu apporter une définition et une caractérisation conceptuelle de l'expérience utilisateur prenant en compte ses principaux composants pour les interactions homme-environnement virtuel immersif, contrairement à de nombreux travaux du domaine couplant expérience utilisateur et environnement virtuel immersif qui ne définissent l'expérience utilisateur qu'à travers un nombre insuffisant de composants.

MOTS-CLÉS : expérience utilisateur, environnement virtuel immersif, évaluation, modèle, questionnaire

1 INTRODUCTION

Une Interaction Homme-Environnement Virtuel Immersif (IHEVI) est mise en œuvre dans un Environnement Virtuel Immersif (EVI). Dans un EVI, les informations sensorielles du monde réel sont remplacées par des stimuli synthétiques (e.g., image stéréoscopique, son spatialisé, retour haptique, ...) (Bowman & McMahan, 2007). Ainsi, la finalité de ces environnements est de « permettre à une ou plusieurs personne(s) une activité sensori-motrice et cognitive dans un monde artificiel, créé numériquement, qui peut être imaginaire, symbolique ou une simulation de certains aspects du monde réel » (Fuchs & Moreau, 2003, p. 5). Une des préoccupations des concepteurs d'IHEVI est de favoriser une bonne expérience utilisateur (UX) dans ces environnements. En conséquence, de nouvelles méthodes mieux adaptées doivent être pensées pour évaluer ces nouveaux systèmes (Woods & Dekker, 2000). Pour autant, la mesure de l'UX reste souvent partielle. En effet, plusieurs études mesurent l'UX uniquement à travers les composants de « présence » (Gaggioli et al., 2003; Riva et al., 2003) ou de « présence et immersion » (Hwang et al., 2006). La présence est

le sentiment d'être « réellement là » dans l'EVI et l'immersion est le ressenti d'être « réellement enveloppé » par l'EVI. Ces deux composants sont essentiels mais pas suffisants pour une expérience de qualité dans l'EVI. En définitive, les modèles proposés de l'UX ne sont que partiellement adaptés aux IHEVI.

Le but des travaux de recherche développés dans le cadre de la thèse est de proposer un modèle holistique qui prend en compte l'ensemble des composants clés de l'UX en jeu dans les IHEVI. L'ergonomie peut contribuer à la conception et à l'évaluation d'IHEVI selon deux approches : la première repose sur des investigations inspirées de l'expérimentation, tandis que la seconde vise à intégrer les différentes dimensions de l'activité orientée et « située » de l'homme avec des outils (Burkhardt, 2003). Nos travaux s'inscrivent dans la première approche. Dans la suite de ce papier, nous proposons une revue des modèles de l'UX pour les IHEVI en section 2. Ensuite, nous introduisons notre problématique et nos axes de recherches en section 3. La méthodologie mise en place détaillant les protocoles expérimentaux de nos deux études sera présentée en section 4 et 5. La section 6 expose une discussion autour de nos résultats et une synthèse des apports et perspectives futures de ces travaux.

2 ÉTAT DE L'ART SUR LES MODÈLES DE L'EXPÉRIENCE UTILISATEUR

Il existe plusieurs définitions de l'UX. Néanmoins, un grand nombre de chercheurs du domaine s'accordent autour de la définition générique de la norme ISO 9241-210 (2009). D'après la norme, l'UX se définit comme « les perceptions et les réponses résultantes de l'utilisation d'un produit, un système ou un service [...] ». Selon le domaine étudié, « les perceptions et réponses » sont traduites par un composant (e.g., présence). Chaque composant illustre une caractéristique de l'UX. Selon les modèles, ces composants et les liens entre eux diffèrent. Nous décrivons ci-après quatre modèles qui sont complémentaires tant sur les composants de l'UX, qui concernent les environnements virtuels interactifs, que sur les relations qu'ils entretiennent.

Un premier modèle proposé par Cheng et al. (2014), conçu pour le divertissement, se base sur le flow (i.e., état psychologique de sentiment de contrôle et de joie entre le stress et l'ennui). Le dispositif immersif utilisé est un simulateur à 6 axes avec retours de force des différentes commandes dans l'environnement virtuel, du siège et de la cabine sur 6 axes. Le modèle de dix composants (i.e., interactivité, compétence, implication, vivacité, attention, défi, présence, flow, loyauté, affect positif), suggère que l'utilisateur entre en état de flow lorsque l'EVI comporte un bon niveau d'interactivité, qu'il crée un équilibre entre le défi représenté et les compétences de l'utilisateur, lorsque celui-ci y porte son attention et se sent téléprésent. Ces derniers composants sont influencés par l'interactivité (stimulée par la vivacité de l'EVI) et l'implication de l'utilisateur. De plus, l'attention et la vivacité influencent la téléprésence. Le flow crée par la suite des affects positifs et une loyauté de l'utilisateur envers la technologie utilisée.

Un deuxième modèle, celui de Shin et al. (2013) a été conçu pour l'apprentissage et se fonde sur les théories de l'acceptation des technologies (Davis Jr, 1986). Le dispositif immersif utilisé est un écran 3D stéréoscopique qui reconstitue une salle de classe virtuelle. Le modèle constitué de neuf composants (i.e., immersion, présence, flow, confirmation, utilité, facilité d'utilisation, satisfaction, intention, expérience précédente), suggère que l'intention de continuer à utiliser la technologie est principalement déterminée par la satisfaction d'un usage antérieur et l'expérience précédente d'apprentissage de cette technologie. La satisfaction est, elle, influencée par l'utilité, la facilité d'utilisation et la confirmation des attentes envers la technologie. Cette confirmation des attentes en retour influence, l'utilité et la facilité d'utilisation perçues. Enfin, les 3 composants de flow, présence et immersion s'influencent entre eux et ont un impact sur la confirmation des attentes de l'utilisateur envers la technologie.

Le modèle de Lin et Parker (2007), conçu pour le divertissement, vise à déterminer les caractéristiques de l'environnement virtuel (i.e., champ de vision, vision stéréoscopique, fréquence d'image, niveau

d'interactivité, repères visuels pour la prédiction du mouvement et avatar-guide virtuel) conduisant à un niveau « optimal » d'UX. Les dispositifs immersifs utilisés incluent une voiture à l'échelle un et un CAVE (Cave Automatic Virtual Environment) ou salle immersive à trois murs de projection qui reconstituent le déplacement en voiture dans un univers virtuel. L'UX dans cette étude, se traduit par des évaluations subjectives positives du sentiment de présence, du degré d'amusement et un « mal du simulateur » ou *simulator sickness* (i.e., effets secondaires tels que la sudation, la fatigue, les nausées, ...) peu perceptible. Un déclin du sentiment de présence ou une hausse du ressenti de « mal du simulateur » de l'utilisateur conduit à une baisse du degré d'amusement. De plus, la présence est associée au champ de vision (e.g., 180° à l'horizontal), à la vision stéréoscopique (e.g., l'image projetée en relief ou non), au mouvement visuel (e.g., mouvement plus ou moins rapide perçu par l'utilisateur lorsqu'il se déplace ou que l'environnement se déplace) et au niveau d'interactivité. Le degré d'amusement est associé à la fréquence d'image, au niveau d'interactivité et aux repères visuels (e.g., le prochain virage est indiqué en avance à l'utilisateur). Enfin, « le mal du simulateur » est associé au champ de vision, à la vision stéréoscopique, à la fréquence d'image, au niveau d'interactivité et aux repères visuels.

Un dernier modèle de Mahlke (2008) introduit l'UX résultant de l'interaction avec un système technologique interactif. Un tel système inclut aussi bien les interfaces non-immersives (e.g., écran d'ordinateur) que celles dites immersives (e.g., casque de réalité virtuelle). Ce modèle de huit composants (i.e., propriétés du système, caractéristiques de l'utilisateur, paramètres du contexte, interaction homme-technologie, perceptions des qualités instrumentales, perception des qualités non-instrumentales, réaction émotionnelle, conséquences de l'expérience) suggère que les propriétés du système (e.g., fonctionnalités), les caractéristiques de l'utilisateur (e.g., âge) et les paramètres du contexte (e.g., environnement) sont des facteurs qui impactent l'interaction homme-technologie qui en retour détermine l'UX. Par ailleurs, les propriétés du système agissent sur les mesures objectives de l'interaction (e.g., temps d'accomplissement de la tâche) et les conséquences de l'expérience (e.g., acceptation, choix du système). De plus, l'interaction détermine les perceptions des qualités instrumentales (e.g., utilité) et non-instrumentales (e.g., esthétique). Celles-ci en retour influencent les réactions émotionnelles (e.g., ressenti subjectif), et ces dernières ainsi que les qualités instrumentales et non-instrumentales influencent les conséquences de l'expérience.

3 PROBLÉMATIQUE ET AXES DE RECHERCHE

L'état de l'art présenté dans la section précédente souligne deux points : premièrement, il permet de constater qu'il y a peu de recherche couplant l'UX et les IHEVI ; deuxièmement, on observe que les quelques modèles de la littérature qui s'y intéressent restent partiels ou très spécifiques à un seul domaine (e.g., divertissement, apprentissage) et à un seul dispositif (e.g., simulateur d'EVI à six axes, écran 3D stéréoscopique, salle immersive stéréoscopique à 3 murs de projection). Aussi, développer un modèle holistique de l'UX, adapté à plusieurs domaines et dispositifs immersifs, reste un enjeu tant sur le plan scientifique que sur le plan opérationnel en outillant les concepteurs d'EVI.

L'objectif de la thèse est double. Il s'agit de proposer et de valider un modèle théorique permettant de caractériser l'expérience utilisateur dans les interactions homme-environnement virtuel immersif d'une part, mais aussi d'assister la conception et l'évaluation des IHEVI en fournissant aux concepteurs un outil de mesure opérationnel d'autre part. Pour répondre à cette objectif, deux axes ont guidé ce travail de recherche.

Le premier a été de construire puis de valider un modèle holistique de l'UX pour les IHEVI (Tcha-Tokey et al., 2015 ; Tcha-Tokey al., 2017). Ce modèle théorique est basé sur les modèles d'UX existant dans la littérature, en particulier ceux de Cheng et al. (2014), Shin et al. (2013), Lin et Parker (2007) et Mahlke (2008). Il a été conçu à partir des composants clés de l'UX en IHEVI et il convient aux domaines les plus souvent visés par les IHEVI (i.e., apprentissage, divertissement, ludo-éducatif). Ce modèle suggère que des conséquences de

l'expérience (e.g., « mal du simulateur », stress, vertige, ...) peu élevées favorisent le sentiment de présence et l'état de flow. De plus, le degré d'engagement et le ressenti d'immersion sont deux composants nécessaires au sentiment de présence. Les compétences perçues influencent l'état de flow qui en retour influence l'émotion et l'utilisabilité. Finalement, les conséquences de l'expérience influencent le jugement global de l'IHEVI et l'adoption de la technologie. Ce modèle théorique se base également sur les facteurs influençant l'UX et suggère que la largeur du champ de vision, la fréquence d'image, le niveau d'interactivité, les feedbacks du contenu 3D (FC3D), les expériences précédentes de l'utilisateur sont des facteurs qui impactent l'UX (Figure 1). Une fois ce modèle théorique conçu (Tcha-Tokey et al., 2015), des études expérimentales ont dû être conduites pour valider (ou invalider) la pertinence de ces relations.

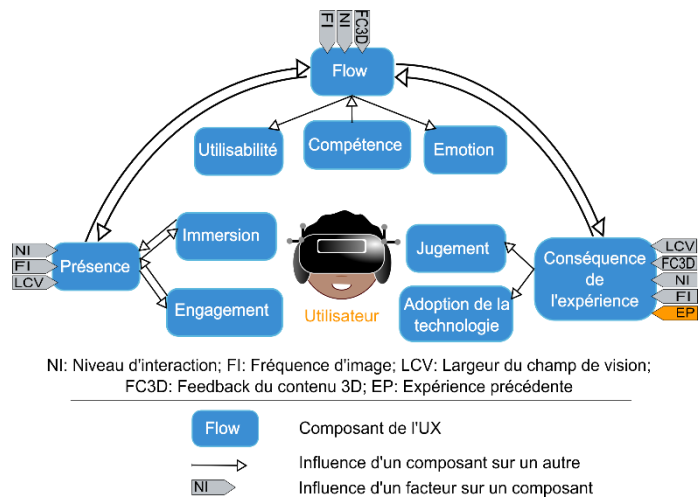


Figure 1. Modèle théorique de l'UX pour les IHEVI

Le second axe a été de proposer un cadre méthodologique ayant pour but de valider un outil de mesure de l'UX opérationnalisant le modèle théorique faisant l'objet du premier axe. Ce questionnaire d'expérience utilisateur est un outil d'aide à la conception et à l'évaluation des IHEVI. Il est composé de 87 items qui mesurent la présence (12 items), l'engagement (3 items), l'immersion (7 items), le flow (11 items), les compétences (6 items), l'émotion (15 items), l'utilisabilité (3 items), les conséquences de l'expérience (9 items), le jugement (12 items) et l'adoption de la technologie (9 items). Il reprend les composants identifiés dans le modèle théorique, chacun de ces composants étant mesuré à travers des items provenant de neuf autres questionnaires (i.e., PQ¹, ITQ², Flow4D16 devenu EduFlow2³, CSE⁴, AEQ⁵, SUS⁶, UTAUT⁷, AttracDiff⁸, SSQ⁹). A partir des résultats à ce questionnaire lors d'une évaluation d'IHEVI donnée, les concepteurs pourront identifier et corriger les facteurs impactant négativement l'UX.

Le travail décrit dans ces axes a motivé le choix d'une méthodologie structurée en deux temps. Une revue de littérature sur les modèles et les questionnaires d'UX et dimensions connexes, a permis d'aboutir, respectivement, à un modèle théorique et un outil de mesure associé (i.e., le questionnaire) préliminaires. Pour les éprouver, deux études expérimentales ont été conduites : la première visait à la validation du modèle théorique d'UX spécifique aux IHEVI et la deuxième proposait un exemple d'utilisation de notre questionnaire validé pour comparer deux dispositifs immersifs de réalité virtuelle en termes d'UX.

¹ Presence Questionnaire (Questionnaire de présence)

² Immersive Tendencies Questionnaire (Questionnaire de tendances immersive)

³ Flow in education (Le flow pour l'éducation)

⁴ Computer Self-Efficacy (mesure efficacité personnel avec les ordinateurs)

⁵ Achievement Emotions Questionnaire (Questionnaire d'émotion)

⁶ System Usability Scale (Echelle d'utilisabilité pour les systèmes)

⁷ Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (Questionnaire de l'acceptation et de l'usage de la technologie)

⁸ Perceived hedonic and pragmatic quality (Questionnaire de qualité hédonique et pragmatique)

⁹ Simulator Sickness Questionnaire (Questionnaire du « mal du simulateur »)

4 ETUDE 1 : VALIDATION DU MODÈLE THÉORIQUE D'UX ADAPTÉ AUX IHEVI

4.1 Objectif

L'objectif de cette étude est de valider le modèle théorique d'UX pour les IHEVI conçu sur la base de la littérature. Plus précisément, cette expérimentation a consisté à étudier les effets des caractéristiques de l'utilisateur (e.g., expérience précédente avec les dispositifs de réalité virtuelle) et celles de l'environnement virtuel (e.g., champ de vision à 106° *versus* à 32°). Les mesures ont été recueillies grâce à un questionnaire d'UX composé d'items censés représenter les composants de notre modèle.

4.2 Méthode de recueil

La méthode expérimentale nous semblait la plus adaptée pour répondre à l'objectif précité dans la mesure où elle nous permettait d'identifier précisément quels facteurs intrinsèques à un dispositif immersif (e.g., champ de vision) et/ou propres à l'interaction avec l'EVI (e.g., flow) ont des effets sur l'UX. L'expérimentation a été menée auprès de 152 participants (28 femmes et 124 hommes) regroupés en six groupes expérimentaux (i.e., groupe variation du niveau d'interactivité, groupe variation du champ de vision, groupe variation du feedback du contenu 3D, groupe variation de la fréquence d'image, groupe expérience précédente avec les technologies 3D, groupe absence d'expérience précédente avec les technologies 3D). L'environnement virtuel immersif utilisé était « Think and Shoot » (créé avec l'outil de développement UNITY® pour le casque de réalité virtuelle Oculus®). La tâche consistait à tirer sur des créatures avant que celles-ci ne touchent le participant tout en respectant les instructions (e.g., tirer la *créature de glace* avec la *balle de feu* pour l'éliminer) données dans l'environnement virtuel en pseudo langage de programmation (Figure 2). Suite à la réalisation de cette tâche, les participants devaient compléter le questionnaire d'UX des IHEVI (cf. Tcha-Tokey et al., 2016). L'expérimentation complète durait de 30 minutes à 1 heure.



Figure 2. Capture d'écran de l'environnement virtuel "Think and Shoot"

4.3 Principaux résultats

Un premier résultat indirect des expérimentations a été la validation du questionnaire d'UX pour les IHEVI. En effet, les données recueillies nous ont permis d'effectuer des analyses statistiques (alpha de Cronbach, coefficient de corrélation de Pearson, test de Kolmogorov-Smirnov) afin d'aboutir à un questionnaire sensible et fiable (Tcha-Tokey et al., 2016). Grâce à cela, nous avons notamment été en mesure de supprimer les items non représentatifs des composants du modèle dans les analyses ultérieures. La validation du modèle s'est faite au travers d'une modélisation par équation structurelle et des tests de Student qui confirment certaines relations de composants et facteurs initialement établis dans le modèle théorique (e.g., l'état de flow influence l'émotion ; l'interactivité impacte le sentiment de présence), en infirmant d'autres (e.g., le sentiment de présence influence le degré d'immersion ; le champ de vision impacte le sentiment de présence) et révèlent de nouvelles relations (e.g., les conséquences de l'expérience influencent l'émotion). Cette validation du modèle théorique fait l'objet d'une publication en cours de préparation.

5 ETUDE 2 : APPLICATION DU QUESTIONNAIRE POUR L'ÉVALUATION DE DISPOSITIFS CONÇUS PAR EON REALITY

5.1 Objectif

L'objectif de cette étude est de proposer un cadre méthodologique de l'UX en IHEVI visant à assister les concepteurs dans la conception et l'évaluation de ces applications immersives. Pour ce faire, nous avons appliqué le questionnaire - validé pour les besoins de l'étude 1 (Tcha-Tokey et al., 2016) - dans une étude visant à caractériser l'effet de deux périphériques immersifs de réalité virtuelle (i.e., Cave Automatic Virtual Environment et casque de réalité virtuelle mobile) sur l'UX de l'application ludo-éducative « King Tut VR2 » conçue par l'entreprise EON Reality Laval. L'expérimentation a consisté à faire évaluer consécutivement les deux périphériques immersifs à chaque participant (i.e., utilisation du périphérique puis complétion du questionnaire).

5.2 Méthode de recueil

Ici aussi, l'approche expérimentale nous semblait être l'option méthodologique la plus appropriée pour répondre à l'objectif visé. L'étude a mobilisé 21 participants (2 femmes et 19 hommes). L'application utilisée, « King Tut VR2 », offre la possibilité aux participants de revivre la découverte du tombeau du pharaon Toutankhamon par Howard Carter.



Figure 3. Casque VR ONE© mobile de réalité virtuelle

Suite à l'utilisation d'un dispositif (e.g., salle immersive) les participants complétaient le questionnaire d'UX pour les IHEVI. L'expérimentation complète durait environ 1 heure.

5.3 Principaux résultats

Les premiers résultats statistiques (i.e., tests de Student) suggèrent une différence significative entre les deux périphériques. Ils révèlent une meilleure UX dans la salle immersive comparativement à celle perçue avec le casque de réalité virtuelle mobile. Ces résultats illustrent un exemple d'utilisation de notre questionnaire d'UX, vu comme une aide à la conception des IHEVI. Ici, le questionnaire a permis d'aider les concepteurs non seulement dans le choix d'un périphérique de réalité virtuelle pour une application ludo-éducative historique (la salle immersive semble mieux adaptée), mais aussi dans l'identification des composants à améliorer s'ils souhaitent toutefois opter pour le casque de réalité virtuelle mobile (e.g., réduire la vitesse des mouvements en avant pour une réduire les conséquences de l'expérience néfastes). Cette étude a fait l'objet d'une publication soumise dans une conférence internationale.



Figure 4. iCube (salle immersive de réalité virtuelle) de l'entreprise EON REALITY

Chaque participant utilisait l'application dans une salle immersive (i.e., iCube de EON Reality Laval présenté en Figure 4), puis avec un casque de réalité virtuelle dont le dispositif visuel était un téléphone mobile (Figure 3) pour environ 10 minutes. Un contrebalancement concernant les périphériques a été

6 DISCUSSION

Dans le cadre de la thèse, nous avons voulu apporter une définition et une caractérisation conceptuelle de l'UX prenant en compte les principaux composants de l'UX pour les IHEVI, contrairement à de nombreux travaux du domaine couplant UX et EVI qui ne définissent l'UX qu'à travers un nombre insuffisant de composants (Gaggioli et al., 2003; Riva et al., 2003). Dans un souci de transférabilité de ces recherches vers l'industrie (il s'agit d'une thèse des Arts et Métiers ParisTech fortement ancrée dans l'industrie), nous avons développé un questionnaire d'UX permettant ainsi de mesurer les perceptions de l'utilisateur dans un EVI dès un stade précoce de conception (Yogasara et al., 2011).

Les principaux apports de cette thèse sont un cadre théorique et méthodologique de l'UX lors d'interactions homme-environnement virtuel immersif. Le modèle théorique proposé et validé identifie les composants clés et caractérise les liens entre eux impactant l'UX dans ces interactions homme-machine spécifiques. Le questionnaire d'UX des IHEVI est un outil qui mesure les jugements des utilisateurs quant à divers composants de l'UX et permet en ce sens d'orienter les choix de conception ou d'identifier les points d'un EVI pouvant être optimisés en matière d'UX (e.g., un niveau d'interactivité adapté aux compétences de l'utilisateur permet d'augmenter son état de flow) suite à des évaluations conduites avec des utilisateurs sur des versions intermédiaires d'un EVI (e.g., prototypes).

Ce cadre théorique et méthodologique a été construit sur la base de modèles et de questionnaires intégrant des facteurs généralistes et spécifiques à certains environnements (i.e., apprentissage, divertissement). Il a été validé avec des applications de type ludo-éducatif et des périphériques immersifs spécifiques (i.e., salle immersive, casque de réalité virtuelle mobile VR ONE®, casque de réalité virtuelle Oculus®). Par conséquent, une première perspective de recherche intéressante serait de l'adapter à d'autres types d'EVI (e.g., thérapeutique, conception ou collaborative), et à d'autres périphériques (e.g., Z-space, salle immersive de 360°, ...).

Nos travaux visent à proposer un cadre théorique et méthodologique généraliste pour l'ensemble des IHEVI (i.e., pas spécifique à une situation de travail ou de la vie quotidienne particulière) et dans une approche expérimentale (i.e., expérimentations avec des dispositifs immersifs, utilisation de questionnaires). Aussi, une seconde perspective de recherche serait d'analyser l'UX en EVI dans un contexte spécifique qui nécessiterait de compléter l'utilisation du questionnaire généraliste avec des analyses de l'activité afin d'identifier des déterminants de l'UX intrinsèques à la situation d'usage.

7 RÉFÉRENCES

- Bowman, D., & McMahan, R. (2007). Virtual Reality: How Much Immersion Is Enough? *Computer*, 40, 36-43.
- Burkhardt, J.-M. (2003). Réalité virtuelle et ergonomie: quelques apports réciproques. *Le travail humain*, 66(1), 65-91.
- Cheng, L. K., Chieng, M.-H., & Chieng, W.-H. (2014). Measuring virtual experience in a three-dimensional virtual reality interactive simulator environment: a structural equation modeling approach. *Virtual Reality*, 18, 173-188.
- Davis Jr, F. D. (1986). *A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems: Theory and results*. Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology.
- DIS, ISO. 9241-210: 2010. (2009). *Ergonomics of human system interaction-Part 210: Human-centred design for interactive systems*. Switzerland: International Standardization Organization (ISO).

- Fuchs, P., & Moreau, G. (2003). *Le traité de la réalité virtuelle, Volume 1: Fondements et interfaces comportementales*. Les presses de l'École des Mines.
- Gaggioli, A., Bassi, M., & Fave, A. (2003). Quality of experience in virtual environments. *Emerging Communication*, 5, 121-136.
- Hwang, J., Jung, J., & Kim, G. (2006). Hand-held virtual reality: a feasibility study. *In Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology* (pp. 356-363). ACM.
- Lin, J. J., & Parker, D. E. (2007). User Experience Modeling and Enhancement for Virtual Environments That Employ Wide-Field Displays. *Digital Human Modeling*, 423-433.
- Mahlke, S. (2008). *User Experience of Interaction with Technical Systems. Theories, Methods, Empirical Results, and Their Application to the Design of Interactive Systems*. Saarbrücken, Germany: VDM Verlag.
- Riva, G., Davide, F., & IJsselstein, W. (2003). *Being there: Concepts, effects and measurements of user presence in synthetic environments*. IOS Press.
- Shin, D. H., Biocca, F., & Choo, H. (2013). Exploring the user experience of three-dimensional virtual learning environments. *Behaviour & Information Technology*, 32, 203–214.
- Tcha-Tokey, K., Christmann, O., Loup-Escande, E., & Richir, S. (2016). Proposition and Validation of a Questionnaire to Measure the User Experience in Immersive Virtual Environments. *The International Journal of Virtual Reality*, 16(1), 33-48.
- Tcha-Tokey, K., Loup-Escande, E., Christmann, O., & Richir, S. (2017). A questionnaire to measure the User Experience. . *In Proceedings of the 18th VRIC 2016*. ACM.
- Tcha-Tokey, K., Loup-Escande, E., Christmann, O., Canac, G., Farin, F., & Richir, S. (2015). Vers un modèle de l'expérience utilisateur en environnement virtuel immersif : Une analyse de la littérature. *In Proceedings of the 27th Conference on Interaction Homme-Machine (IHM2015)* (p. 26). Toulouse: ACM.
- Woods, D., & Dekker, S. (2000). Anticipating the effects of technological change: a new era of dynamics for human factors. *Theoretical issues in ergonomics science*, 1(3), 272-282.
- Yogasara, T., Popovic, V., Kraal, B. J., & Chamorro-Koc, M. (2011). General characteristics of anticipated user experience (AUX) with interactive products. *In Proceedings of IASDR2011: The 4th World Conference on Design Research: Diversity and Unity* (pp. 1-11). IASDR.